

# EKSTRAKSI FITUR PEMBULUH DARAH CITRA FUNDUS RETINA MENGGUNAKAN FUZZY LOGIC

<sup>1</sup>Asyaroh Ramadona Nilawati, <sup>2</sup>Taufik Hidayat

<sup>1,2</sup>Fakultas Ilmu Komputer dan Sistem Informasi Universitas Gunadarma

<sup>1</sup>Jl. Margonda Raya 100, Depok 16424, Jawa Barat

<sup>1,2</sup>{rama,taufikhidayat}@staff.gunadarma.ac.id

## Abstrak

Ekstraksi pola pembuluh darah retina dapat dimanfaatkan dalam sistem biometrik sebagai otentikasi keamanan. Citra hasil ekstraksi pola pembuluh darah retina dapat dimasukkan ke dalam fitur untuk identifikasi sistem biometrik. Salah satu metode yang dapat dilakukan untuk melakukan segmentasi pembuluh darah retina adalah metode fuzzy logic. Pada penelitian ini, dilakukan ekstraksi pembuluh darah citra fundus retina menggunakan implementasi fuzzy logic. Peneliti menggunakan sejumlah 120 citra fundus yang diperoleh dari dataset DRIVE berformat .tif. Proses segmentasi dimulai dengan tahap preprocessing yang berisikan konversi citra menjadi grayscale, median filtering, perataan histogram CLAHE, dan eliminasi optic disc, kemudian dilanjutkan dengan pembuatan fuzzy inference system. Tahapan preprocessing yang digunakan merupakan hasil dari rangkaian uji coba peneliti dengan melihat hasil dari setiap uji coba yang dilakukan, sehingga mendapatkan citra yang menonjolkan fitur pembuluh darah dan menghilangkan noise atau fitur retina yang tidak diperlukan seperti optic disc. Uji coba segmentasi dilakukan pada Polyspace R2020a sebagai media untuk menjalankan program mulai dari preprocessing hingga segmentasi menggunakan fuzzy logic. Keluaran dari segmentasi ini berupa citra segmentasi hasil dari metode fuzzy logic dan crisp value. Hasil uji coba penelitian implementasi metode fuzzy logic berhasil melakukan ekstraksi pembuluh darah retina dan menghasilkan crisp value. Nilai crisp value ini dapat digunakan sebagai salah satu fitur dalam membentuk sistem identifikasi biometrik retina.

**Kata Kunci:** Crisp Value, Ekstraksi, Fuzzy Logic, Pembuluh Darah, Retina

## Abstract

Retinal vein pattern extraction can be utilized in biometric systems as security authentication. The image extracted from the retinal blood vessel pattern can be inserted into the feature to determine the biometric system. One method that can be used to segment retinal blood vessels is the fuzzy logic method. In this study, the retinal fundus image was extracted using fuzzy logic implementation. Researchers used a number of 120 fundus images obtained from the .tif format DRIVE dataset. The segmentation process begins with the preprocessing stage which contains grayscale image conversion, median filtering, CLAHE histogram alignment, and optical disc elimination, then proceeds with the creation of a fuzzy inference system. The preprocessing stage used is the result of a series of experiments by researchers by looking at the results of each trial carried out, so as to obtain images that highlight blood vessel features and eliminate noise or unnecessary retinal features such as optical discs. Segmentation trials were carried out on Polyspace R2020a as a medium for running programs ranging from preprocessing to segmentation using fuzzy logic. The output of this segmentation is a segmented image resulting from fuzzy logic and crisp value methods. The trial results of the implementation of the fuzzy logic method have succeeded in extracting retinal blood vessels and producing sharp values. This crisp value can be used as a feature in forming a retinal biometric system.

**Keywords:** Blood Vessels, Crisp Value, Extraction, Fuzzy Logic, Retina

## PENDAHULUAN

Pada saat ini, identifikasi individu adalah hal yang penting semenjak banyak sistem yang memerlukan pengguna yang sah untuk mengakses kontrol [1], khususnya untuk sistem yang menyimpan *data* dan dokumen berharga. Salah satu metode teknologi identifikasi yang saat ini sedang dikembangkan adalah *biometric feature-based identification technology* [2]. Sistem identifikasi biometrik adalah sistem yang melakukan identifikasi dan pengenalan menggunakan pola karakteristik biometrik [3] yang dimiliki sendiri. Penelitian sebelumnya pada biometrik menyatakan bahwa biometrik bisa digunakan untuk meningkatkan keamanan, kenyamanan, dan akuntabilitas sebuah sistem selama proses deteksi dan mencegah penipuan [4]. Menentukan fitur yang tepat menjadi sangat penting untuk menghasilkan sistem biometrik yang bisa mengidentifikasi individu secara benar.

Proses identifikasi biometrik salah satunya dapat dilakukan dengan menggunakan salah satu organ pada manusia yaitu retina. Retina pada setiap individu memiliki keunikan tersendiri yang bisa dipakai sebagai fitur karakteristik, salah satunya adalah melihat pembuluh darah retina [5] yang memiliki bentuk yang membedakan dari individu yang satu dengan yang lain. Salah satu metode yang dapat digunakan untuk melakukan ekstraksi terhadap fitur pembuluh darah [6] adalah *fuzzy logic*. *Fuzzy logic*

adalah sebuah wujud logika banyak nilai yang dimana nilai benar suatu variabel bisa dalam bentuk bilangan *real* antara nol dan satu keduanya inklusif [7], digunakan untuk menangani konsep kebenaran parsial, dimana nilai kebenarannya mungkin berada pada rentang sepenuhnya benar atau sepenuhnya salah [8].

Penelitian ekstraksi pembuluh darah retina menggunakan *fuzzy logic* sudah dilakukan pada peneliti sebelumnya. Penelitian [9] menggunakan *fuzzy c-means* dan pendekatan neutrosofik, penelitian ini dilakukan terhadap *dataset* DRIVE dan DIARETDB1. Penelitian [10] melakukan segmentasi dengan menggunakan *fuzzy logic* pada *dataset* DRIVE, STARE, DIARETDB1, dan MESSIDOR. Penelitian [11] mengimplementasikan *Possibilistic Fuzzy c-means* (PCFM) dengan metode *cuckoo search*, penelitian ini dilakukan terhadap *dataset* DRIVE dan STARE. Penelitian [12] menggunakan metode *Fuzzy C Means* untuk melakukan segmentasinya, dalam penelitian ini dilakukan beberapa tahap *preprocessing* sebelum dilakukan segmentasi pada *dataset* DRIVE dan STARE. Penelitian [13] menerapkan metode *Fuzzy Mathematical Morphology (FMM) operator* untuk pemrosesan *pipeline* yang dilakukan pada *datasets* STARE dan DRIVE menggunakan morfologi *opening*.

Penelitian ini menggunakan citra fundus yang digunakan berasal dari *dataset* DRIVE sejumlah 120 citra dengan format

.tif. Citra yang sudah melalui tahapan *preprocessing* kemudian dilakukan konvolusi untuk mendapat gradien  $x$  dan  $y$  sebagai *input* dari *fuzzy inference system*. Pada pembentukan *Fuzzy Inferense System*, peneliti melakukan operasi *zero mean Gaussian membership function* pada *input*. Penelitian ini juga melakukan pembentukan *membership function output* dari *fuzzy inference system*, dan pembentukan *rules* untuk menentukan hasil citra *output*. Evaluasi *fuzzy inference system* dilakukan untuk menghasilkan *crisp value*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan fitur ciri yang dapat digunakan sebagai bagian dari *input biometric feature-based identification technology*.

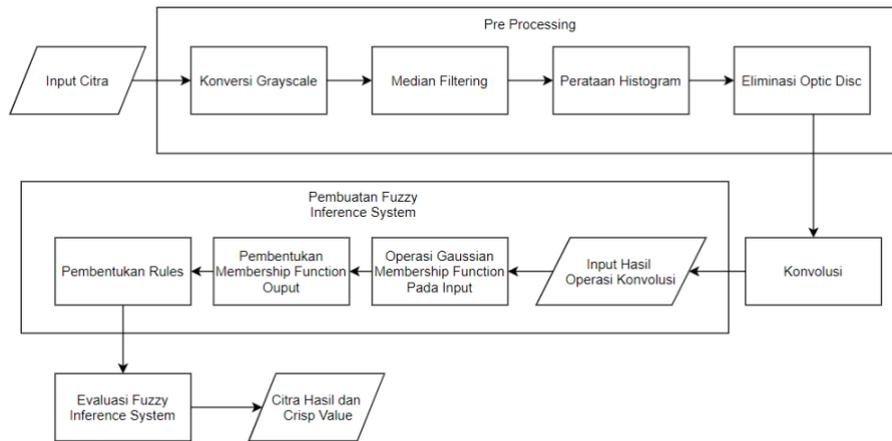
## METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan-tahapan untuk segmentasi pembuluh darah citra fundus retina seperti dapat dilihat pada Gambar 1. Tahapan pertama dilakukan dengan mengambil *input* citra yang berasal dari *dataset DRIVE* sejumlah 120 citra dengan ukuran 565 x 584 piksel dan mempunyai format .tif. Tahapan kedua yaitu melakukan *pre-processing* terhadap citra *input* dari *dataset DRIVE*, pada tahap ini ada beberapa sub proses yang dilakukan yaitu, pertama, lakukan konversi citra ke dalam citra

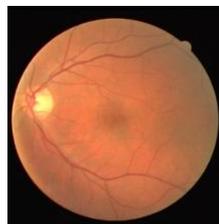
*grayscale*, kedua, operasikan median *filtering* ke citra *grayscale*, ketiga, lakukan perataan histogram menggunakan metode CLAHE, keempat, aplikasikan morfologi matematika untuk menghilangkan *optic disc* pada citra pembuluh darah retina. Tahapan ketiga yaitu lakukan konvolusi terhadap citra yang telah melalui tahap *preprocessing* untuk mendapat gradien  $x$  dan  $y$  sebagai *input* dari *fuzzy inference system*. Tahapan keempat yaitu pada pembuatan *Fuzzy Inferense System*, dalam tahap ini ada beberapa tahapan kecil yaitu memasukan *input* hasil operasi konvolusi, kemudian melakukan operasi *zero mean Gaussian membership function* pada *input*, selanjutnya pada pembentukan *membership function output* dari *fuzzy inference system*, dilakukan pembentukan *rules* untuk menentukan hasil gambar *output*. Tahap keenam yaitu lakukan evaluasi *fuzzy inference system* akan menghasilkan *crisp value*.

### A. Citra Masukan

*Input* citra yang digunakan pada penelitian adalah citra fundus pembuluh darah retina berwarna dari *dataset* yang bernama *DRIVE* [14]. Citra pembuluh darah retina merupakan citra berwarna dengan model warna RGB dengan ukuran piksel 565 x 584 seperti dapat dilihat pada Gambar 2.



**Gambar 1. Gambaran Umum Metode Penelitian**



**Gambar 2. Contoh Citra Fundus yang Digunakan [14]**

### B. Preprocessing Citra Fundus

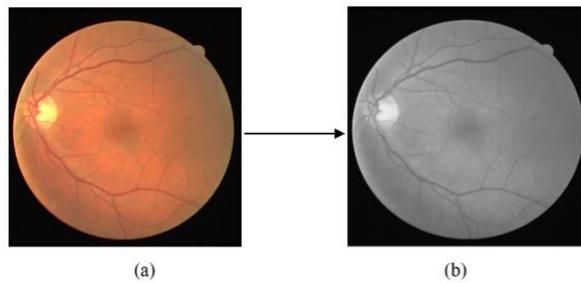
*Preprocessing* adalah tahapan awal pengolahan *Data* yang dilakukan terhadap citra pembuluh darah retina yang bertujuan untuk memperbaiki citra, melakukan eliminasi terhadap informasi yang tidak dibutuhkan pada tahap selanjutnya dan meningkatkan fitur citra yang akan diekstraksi. Preprocessing pada penelitian ini terdiri atas tahapan :

1. Melakukan konversi *grayscale* menggunakan persamaan 1.

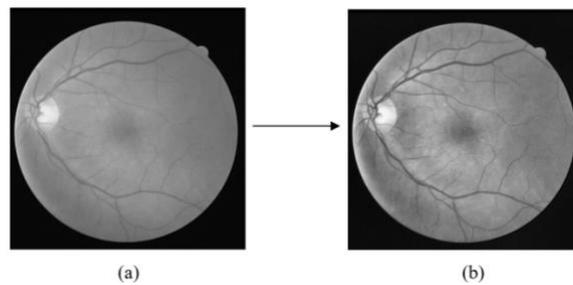
$$I = 0.33 * R + 0.5 * G + 0.166 * B \quad (1)$$

Dimana *output* dari citra *grayscale* adalah *I*, dan komponen merah, hijau, dan biru adalah *R*, *G*, dan *B* berurutan. Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3.

2. Melakukan operasi *filtering* yang digunakan untuk memperhalus citra retina menggunakan operasi median filter [15] yang dilakukan dengan mengganti piksel pada citra dengan nilai median dari tetangganya. Hasil dari operasi median filter ini digunakan sebagai input pada perataan histogram menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (CLAHE)* untuk menonjolkan citra pembuluh darah retina yang akan diekstraksi, sedemikian sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang relatif sama seperti dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 3. (a) Citra Fundus DRIVE (b) Citra *Grayscale*



Gambar 4. Citra Hasil CLAHE (a) Citra *Median Filter* (b) Citra CLAHE

Perataan histogram menggunakan CLAHE dilakukan dengan tujuan untuk mempertajam objek pembuluh darah sehingga dapat terlihat dengan jelas dibanding dengan citra median *filter* yang objek pembuluh darahnya belum terlihat jelas menggunakan persamaan 2.

$$\beta = \frac{M}{N} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} (S_{max} - 1) \right) \quad (2)$$

Variabel M menyatakan luas *region size*, N menyatakan nilai grayscale (256), dan  $\alpha$  merupakan *clip factor* menyatakan penambahan batas limit suatu histogram yang bernilai antara 0 sampai dengan 100[16].

### C. Operasi *Filtering* dan *Morfologi Citra*

Operasi *filtering* dilakukan digunakan untuk memperhalus citra retina menggunakan operasi median filter [15] yang dilakukan

dengan mengganti piksel pada citra dengan nilai median dari tetangganya. Hasil dari operasi median filter ini digunakan sebagai input pada perataan histogram menggunakan *Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization* (CLAHE) untuk menonjolkan citra pembuluh darah retina yang akan diekstraksi, sedemikian sehingga setiap derajat keabuan memiliki jumlah piksel yang relatif sama seperti dapat dilihat pada Gambar 4.

Perataan histogram menggunakan CLAHE dilakukan dengan tujuan untuk mempertajam objek pembuluh darah sehingga dapat terlihat dengan jelas dibanding dengan citra median *filter* yang objek pembuluh darahnya belum terlihat jelas menggunakan persamaan 3.

$$\beta = \frac{M}{N} \left( 1 + \frac{\alpha}{100} (S_{max} - 1) \right) \quad (3)$$

Variabel  $M$  menyatakan luas *region size*,  $N$  menyatakan nilai grayscale (256), dan  $\alpha$  merupakan *clip factor* menyatakan penambahan batas limit suatu histogram yang bernilai antara 0 sampai dengan 100[16].

#### D. Eliminasi Optic Disc

Tahap ini dilakukan untuk menghilangkan *optic disc* pada citra karena yang akan kita pakai hanyalah pembuluh darahnya saja, maka dari itu pada tahap eliminasi *optic disc* dilakukan beberapa proses antara lain :

1. Melakukan operasi komplement citra grayscale menggunakan persamaan 4.

$$\overline{A_{i,j}^c} = 255 - A_{i,j} \quad (4)$$

2. Melakukan perataan histogram menggunakan *Adaptive Histogram Equalization* (AHE) untuk memperbaiki kontras citra.
3. Melakukan operasi morfologi matematika *opening* pada citra menggunakan *structuring element*nya 'disk' mengikuti bentuk dari citra fundus yang berbentuk bulat dengan ukuran 10x10 menggunakan persamaan 5.

$$\overline{f(x,y) \circ SE} = (f(x,y) \ominus SE) \oplus SE \quad (5)$$

Persamaan 6 merupakan persamaan *structuring element*.

$$\overline{SE = strel(p,q)} \quad (6)$$

Dimana  $p$  adalah *Structuring element's* type dan  $q$  merupakan parameter

4. Eliminasi *optic disc* dilakukan dengan cara mengurangi setiap nilai di dalam piksel citra hasil AHE dengan citra hasil morfologi matematika. Hasil eliminasi *optic disc* dapat dilihat pada Gambar 5.

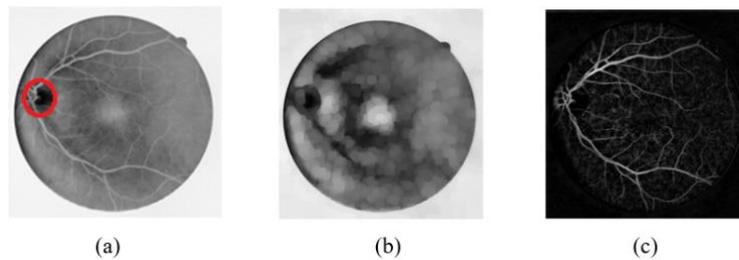
Seperti yang dapat dilihat pada gambar 5 (a) bagian citra yang memiliki fitur *optic disc* dilingkari merah, eliminasi *optic disc* dilakukan karena yang diperlukan hanyalah pembuluh darah untuk proses selanjutnya. Eliminasi *optic disc* dilakukan dengan cara mengurangi nilai pada citra piksel (a) dengan citra piksel (b) sehingga menghasilkan citra (c) yang tidak mempunyai *optic disc*.

#### E. Konvolusi Citra

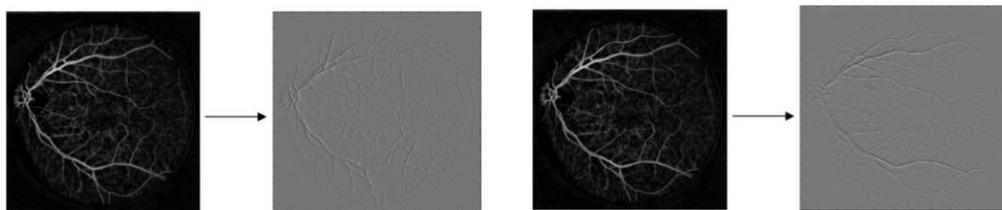
Konvolusi citra digunakan untuk mendeteksi tepi dengan menggunakan operator gradien pertama, konvolusi citra dilakukan untuk mendapatkan gradient  $x$  dan gradient  $y$ . Konvolusi citra dengan operator gradien pertama dilakukan dengan menggunakan *mask* konvolusi menggunakan persamaan 7 dan persamaan 8.

$$\overline{G_1(x) = [-1 \ 1]} \quad (7)$$

$$\overline{G_1(y) = \begin{bmatrix} 1 \\ -1 \end{bmatrix}} \quad (8)$$



**Gambar 5. Citra Eliminasi *Optic Disc***  
**(a) Citra Komplemen (b) Citra Hasil Opening (c) Citra Tanpa *Optic disc***



**Gambar 6. Citra Hasil Deteksi Tepi. (a) Gradien *x* (b). Gradien *y***

Hasil dari deteksi tepi menggunakan operator gradien pertama pada gradien *x* dan *y* dapat dilihat pada Gambar 6. Konvolusi citra untuk mendapatkan gradien *x* dan *y* dilakukan agar kedua gradien tersebut menjadi *input* dari metode proses selanjutnya.

#### ***F. Pembuatan Fuzzy Inference System***

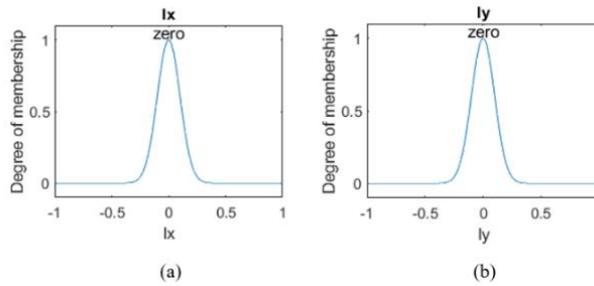
Pembuatan *fuzzy inference system* (FIS) dilakukan dengan menggunakan metode Mamdani dimana *rules* dibuat secara linguistik. Berikut adalah *pseudocode* pembuatan *fuzzy inference system mamdani*:

```
edgeFIS = mamfis('Name','edgeDetection');
```

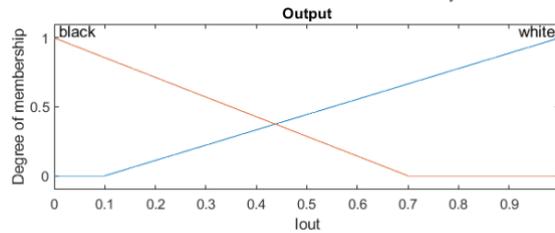
fungsi ‘*mamfis*’ adalah fungsi pada matlab yang berfungsi untuk membuat Mamdani *fuzzy inference system* dengan parameter

nama yaitu ‘*edgeDetection*’. Dalam pembuatan FIS ada beberapa tahap antara lain:

1. *Input* Hasil Operasi Konvolusi. Hasil operasi konvolusi gradien *x* dan *y* dijadikan sebagai *input* dari *Fuzzy Inference System* dengan normalisasi angka rentang dari minus satu (-1) sampai dengan satu (1)
2. *Membentuk Membership Function Input* dengan melakukan operasi zero-mean Gaussian *membership function* untuk setiap *input* dengan standar deviasi 0,1. Jika nilai gradien sebuah piksel adalah nol, maka dia termasuk ke dalam *zero membership function* dengan derajat satu. Grafik *membership function* pada *input* dapat dilihat pada Gambar 7



**Gambar 7. Grafik Membership Function Input (a). Grafik Membership Function Gradien X (b). Grafik Membership Function Gradien Y**



**Gambar 8. Grafik Membership Function Output**

3. Membentuk *Membership Function Output* menggunakan dua buah *output* yaitu white dan black, jenis *membership function* yang digunakan adalah *triangular membership function* dengan tiga nilai parameter A, B, dan C yang masing-masing adalah awal, puncak, dan akhir dengan ketentuan  $A > B > C$ . Parameter untuk setiap *output* yaitu :

- White      • Black
- A = 0,1    A = 0
- B = 1      B = 0
- C = 1      C = 0,7

Grafik *triangular membership function output* dapat dilihat pada Gambar 8. Seperti yang terlihat pada gambar 3.13. Parameter white dan black merepresentasikan berapa derajat keanggotaan *background* dan *foreground* dari masing-masing piksel *output* citra dari pembentukan *rules* yang akan

dibuat, grafik tersebut menunjukkan *Iout* (*fuzzy set*) ketika satu maka derajat keanggotaan ‘white’ satu dan ‘black’ nol yang nantinya pembentukan *membership function output* berguna untuk mengubah nilai membership function menjadi *fuzzy sets* sesuai dengan derajat keanggotaannya.

### G. Pembentukan Rules

Pembentukan *rules* dilakukan untuk membuat piksel menjadi putih jika termasuk ke dalam wilayah seragam dan hitam jika sebaliknya. Sebuah piksel adalah *background* jika gradien citranya nol di kedua arah. Jika salah satu gradien bukan nol, maka piksel tersebut adalah sebuah *foreground*. Rule ditentukan persamaan 9 dan persamaan 10.

$$I(x,y) = \text{white for } I_x = 0 \text{ and } I_y = 0 \text{ (indicating the bac...)} \quad )$$

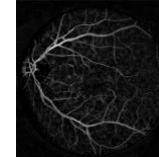
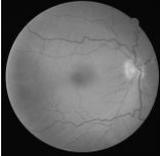
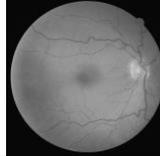
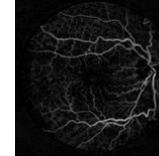
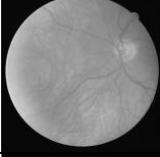
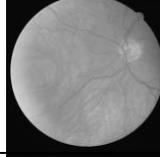
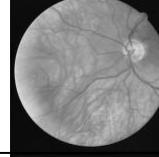
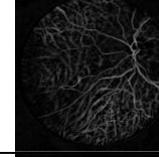
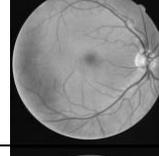
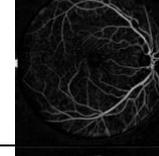
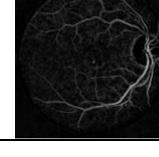
$I(x,y) = \text{black for } I_x \neq 0 \text{ or } I_y \neq 0; \text{ and } I(x,y) = \text{white for } I_x = 0 \text{ and } I_y = 0$

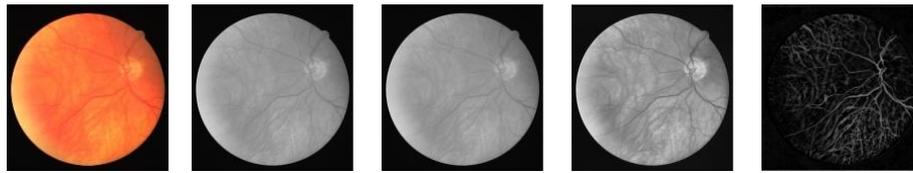
0)

Pembentukan *rules* ini bertujuan untuk memberikan *output* citra dengan piksel  $\overline{I(x,y)}$  adalah white maka piksel tersebut akan berwarna putih dan merepresentasikan *background*, sedangkan jika  $\overline{I(x,y)}$  adalah black maka piksel tersebut akan berwarna hitam dan merepresentasikan *foreground* (objek pembuluh darah).

Uji coba dilakukan pada 120 citra fundus yang diperoleh dari *dataset* DRIVE. Pada penelitian ini, tahap *preprocessing* terdiri dari empat proses yaitu konversi ke citra *grayscale*, *median filtering*, perataan histogram (CLAHE), dan eliminasi *optic disc*. Keluaran dari proses *preprocessing* ini menghasilkan citra fundus tanpa *optic disc* yang sudah menunjukkan pola pembuluh darah.

**Tabel 1. Hasil *Preprocessing* Citra Fundus**

Nama File	Citra Asli	Citra Grayscale	Median Filter	CLAHE	Eliminasi Optic Disc
21_training.tif					
22_training.tif					
23_training.tif					
24_training.tif					
25_training.tif					



Gambar 9. Hasil Citra *Preprocessing* (a) Citra Fundus Asli (b) Citra *Grayscale* (c) Citra *Median Filter* (d) Citra *CLAHE* (e) Citra *Eliminasi Optic Disc*

Tabel 2. Citra Hasil Ekstraksi Fitur Ciri

Nama File	Citra Konvolusi Gradient X	Citra Konvolusi Gradient Y	Citra Fundus Tersegmentasi
21_training.tif			
22_training.tif			
23_training.tif			
24_training.tif			
25_training.tif			

Sebagai contoh diambil 5 hasil ujicoba dari total 120 citra pada dataset seperti dapat dilihat pada Tabel 1. Tabel 1 menunjukkan tahapan citra fundus dalam *preprocessing*

dimulai dari citra asli hingga citra yang sudah dilakukan eliminasi *optic disc*. Citra asli hingga tahap akhir memiliki ukuran dimensi yang sama yaitu 565 x 585 piksel. Dapat

diambil contoh citra hasil pada baris Tabel 1 gambar 23\_training.tif dapat dilihat pada Gambar 9.

Gambar 9 menunjukkan hasil dari metode *preprocessing* yang dilakukan. Tahap-tahap yang dilakukan adalah konversi citra warna menjadi grayscale, operasi median *filter* untuk mereduksi *noise* dan mempersiapkan citra untuk dilakukan operasi CLAHE, setelah itu menggunakan operasi pembukaan morfologi matematika untuk mengeliminasi *optic disc*.

### Hasil Pembentukan *Rules* dan Evaluasi *Fuzzy Inference System*

Hasil pembentukan *rules* dan evaluasi *fuzzy inference system* berupa matriks dua

dimensi yang merepresentasikan setiap piksel dengan *output crisp value* dan hasil segmentasi citra fundus.

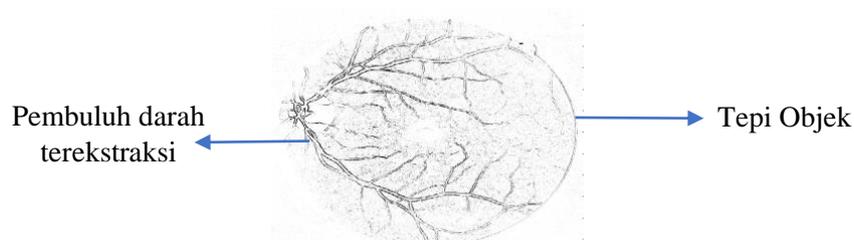
Visualisasi *rules*, citra hasil ekstraksi seperti dapat dilihat pada Tabel 2. Tabel 3 menunjukkan nilai *crisp value* dari salah satu citra pada beberapa piksel. Nilai *crisp value* 0.7033 dan 0.6965 pada

Tabel 3 masing-masing menunjukkan bahwa dia adalah tepi objek atau *foreground* objek dan *background*.

Pada baris Tabel 3 yang diberi warna merah merupakan *output crisp value* yang menghasilkan citra terekstraksi hasil FIS Gambar 9, sebagai contoh nilai *crisp value* 0.7033 dan 0.6965 seperti terlihat pada Tabel 3.

**Tabel 3. Visualisasi *Output Crisp Value***

0.6965	0.6965	0.6965	0.6965	0.7033	0.6965	0.6965	0.7033	0.7033
0.7033	0.7033	0.7033	0.6965	0.6965	0.6965	0.6965	0.6965	0.6965
0.6965	0.6965	0.7033	0.7033	0.7033	0.6965	0.6965	0.6965	0.7033
0.7033	0.6965	0.6965	0.7033	0.7033	0.7033	0.7033	0.6965	0.6965
0.7033	0.7033	0.6965	0.7033	0.7033	0.7033	0.7033	0.7033	0.6965



**Gambar 9. Citra Hasil *Fuzzy Inference System***

## KESIMPULAN DAN SARAN

Salah satu cara melakukan pembentukan sistem identifikasi biometrik dengan menggunakan retina, dimana setiap individu memiliki keunikan retina tersendiri yang dapat digunakan fitur (ciri) unik dalam melakukan identifikasi. Pembuluh darah terekstraksi merupakan salah satu ciri yang dapat dimasukkan kedalam Sistem Biometrik Retina. Hasil ujicoba menunjukkan implementasi *fuzzy logic* pada citra fundus retina berhasil melakukan ekstraksi sehingga fitur pembuluh darah citra terekstraksi berhasil dilakukan. *Membership function input* juga berhasil dibuat menggunakan *zero-mean Gaussian membership function* yang menghasilkan grafik *gaussian membership function* yang digunakan untuk mendefuzifikasi *fuzzy set* menjadi nilai crisp (*Crisp Value*). *Crisp Value* hasil pembuluh darah retina terekstraksi ini merupakan salah satu fitur yang dapat digunakan dalam membentuk sistem biometrik retina.

Pengembangan penelitian lanjutan dapat dilakukan dengan menggunakan metode *preprocessing* yang lain agar fitur objek pembuluh darah lebih terlihat dengan jelas, penggunaan fitur unik lain pada objek citra retina untuk membentuk sistem biometrik yang handal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] S. Prabhakar, S. Pankanti, and A. K. Jain, "Biometric recognition: Security and privacy concerns," *IEEE security & privacy*, vol. 99, no. 2, pp. 33–42, 2003
- [2] A. K. Jain, A. Ross, and S. Prabhakar, "An introduction to biometric recognition," *IEEE Transactions on circuits and systems for video technology*, vol. 14, no. 1, pp. 4–20, 2004
- [3] S. K. Sahoo, T. Choubisa, and S. M. Prasanna, "Multimodal biometric person authentication: A review," *IETE Technical Review*, vol. 29, no. 1, pp. 54–75, 2012
- [4] K. A. Nixon, V. Aimale, and R. K. Rowe, "Spoof detection schemes," in *Handbook of biometrics*, pp. 403–423, Springer, 2008
- [5] Susetianingtias, D. T., Madenda, S., Fitriyaningsih, Adlina, D., Rodiah, & Arianty, R, "Retinal blood vessel extraction using wavelet decomposition", *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 11(4), 351–355, <https://doi.org/10.14569/IJACSA.2020.0110448>, 2020
- [6] A. Budai, R. Bock, A. Maier, J. Hornegger, G. Michelson, "Robust Vessel Segmentation in Fundus Images", *International Journal of Biomedical Imaging*, 2013
- [7] V. Novák, I. Perfilieva, J. Močkoř, *Mathematical principles of fuzzy logic*,

- Dordrecht: Kluwer Academic. ISBN 978-0-7923-8595-0,1999.
- [8] F. Liu, “An efficient centroid type-reduction strategy for general type-2 fuzzy logic system”, *Information Sciences*,178.9, pp. 2224-2236, 2008.
- [9] I. Kaur, and L.M. Singh, “A Method of Disease Detection and Segmentation of Retinal Blood Vessels using Fuzzy C-Means and Neutrosophic Approach”, *Imperial journal of interdisciplinary research* 6, 551–557, 2016
- [10] C. Bhardwaj, S. Jain, and M. Sood, “Automatic Blood Vessel Extraction of Fundus Images Employing Fuzzy Approach”, *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Informatics*, vol 7, No. 4, pp. 757–771, Dec 2019.
- [11] E. Emary, H.M. Zawbaa, A.E. Hassanien, G. Schaefer, and A.T. Azar, “Retinal Vessel Segmentation based on Possibilistic Fuzzy c-means Clustering Optimised with Cuckoo Search”, IEEE 2014 International Joint Conference on Neural Networks, Beijing, China, 2014, Volume: 1792 – 1796.
- [12] A.T. Franklin, and M. June, “Biological and Chemical Sciences GUI For Retinal Blood Vessel Articulation for Detection Of Diabetic”, *Research Journal of Pharmaceutical*, 8(2372), 2372–2385, 2017.
- [13] D.O. Dantas, D.D.S. Oliveira, H. Danilo, and P. Leal, “Blood vessels extraction using Fuzzy Mathematical Morphology”, IEEE International Conference on Acoustics, Speech and Signal Processing, 2017.
- [14] High-Resolution Fundus Image Databaset. Tersedia pada: <https://www5.cs.fau.de/research/data/fundus-images>. Tanggal akses: 1 Agustus 2020
- [15] E. Sutanty, S. Madenda, D.A. Rahayu, Rodiah, D.T. Susetianingtias, "Retinal blood vessel segmentation and bifurcation detection using combined filters", 3rd International Conference on Science in Information Technology (ICSITech), October 2017..
- [16] F. Kanditami, D. Saepudin, and A. Rizal, “Analisis Contrast Limited Adaptive Histogram Equalization (Clahe ) Dan Region Growing Dalam Deteksi Gejala Kanker Payudara Pada Citra Mammogram”, *Jurnal Elektro Unika Atma Jaya*, 7 No.1, 15–28, 2014.
- [17] URL: High-Resolution Fundus Image Databaset. Tersedia pada: <https://www5.cs.fau.de/research/data/fundus-images>. Tanggal akses: 1 Agustus 2020.